

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

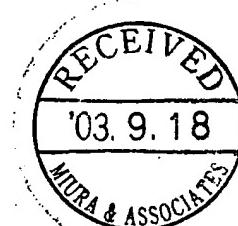
(21) **Patentschrift**
(11) **DE 3424806 C2**

(51) Int. Cl. 4:

G 01 B 11/14

G 01 C 5/00

G 01 C 9/00



Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)

30.12.83 CH 6994-83

(71) Patentinhaber:

Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg, CH

(74) Vertreter:

Prüfer, L., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

(72) Erfinder:

Gächter, Bernhard, Dr., Balgach, CH; Braunecker, Bernhard, Dr., Widnau, CH; Müller, Fritz, Dr., Balgach, CH

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS	16 73 887
CH	3 92 905
US	44 12 745
US	41 12 295
US	39 73 119

(52) Nivelliersystem und Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems

DE 3424806 C2

REST AVAILABLE COPY

Patentansprüche

1. Nivelliersystem, bestehend aus Nivelliergerät (1) mit Fernrohr und Nivellierlatte (2), wobei die Nivellierlatte zur absoluten Ortsmessung mit einem längs verlaufenden Code-Muster versehen ist, ferner das Nivelliergerät einen Code-Leser enthält, wobei der Code-Leser eine nach Detektorelementen (Q_i) auflösende Detektorgruppe (10) aufweist und ein Rechner (15) zur Auswertung der Meßergebnisse vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Detektorgruppe (10) mindestens ein Teil des Code-Musters abgebildet wird, daß die Meßergebnisse des Detektors über eine Quantisierungs-Stufe (13, 14) dem Rechner (15) zugeleitet und mit Vergleichswerten aus einem Speicher (18) durch eine integrale Vergleichsoperation verglichen werden, daß am Fokusserbetrieb (6) des Fernrohrs ein Positionsgeber (17) vorgesehen ist, dessen Weg- oder Winkelmeßwerte beim Scharfstellen des Fernrohrs auf das Code-Muster ebenfalls dem Rechner (15) zugeführt werden und zur Erfassung der Distanz dienen, und daß entsprechend der so in den Rechner eingelesenen Distanz der Abbildungsmaßstab (m) des Code-Musters errechnet und beim Vergleich mit dem gespeicherten Referenz-Code-Muster berücksichtigt wird.
2. Nivelliersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (15) zur Durchführung eines Kreuzkorrelationsvergleichs zwischen den quantisierten Meßwerten der Detektorgruppe (10) und den einer Referenzcode entsprechenden Vergleichswerten aus dem Speicher (18) ausgebildet ist.
3. Nivelliersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (15) zum Verschieben des Referenzcodes gegenüber den Meßwerten der Detektorgruppe (10) um Bruchteile (Δ) des Abstandes (h') zwischen den Meßwerten (D_1, D_2) benachbarter Detektorelemente (Q_i) der Detektorgruppe (10) ausgebildet ist.
4. Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine programmgesteuerte Optimierungsrechnung der Maximalwert der Kreuzkorrelation $KL(m, \Delta)$ zwischen den in der Detektorgruppe (10) gemessenen Meßwerten und den Vergleichswerten aus dem Speicher bestimmt wird, indem der Abbildungsmaßstab (m) des Referenzcodes und seine relative Lage (Δ) zu den Signalen (D_i) der Detektorelemente (Q_i) variiert wird.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Nivelliersystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 und ein Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems nach dem Oberbegriff des Anspruches 4.

Ein derartiges Nivelliersystem ist aus der US-PS 44 12 745 bekannt. Bei dem System wird ein absoluter Binärkode mit Adressen benutzt. Die Code-Elemente müssen länger sein als ein Detektor-Element (z. B. doppelt so lang). Durch einen Nonius ist eine weitere Interpolation möglich. Die Genauigkeit der Messung beträgt dann typischerweise einige Mikrometer. Die Auswertung ist jedoch relativ langsam.

Auf verschiedenen Gebieten der Technik besteht ein

Bedarf an einer berührungslosen Erfassung von Relativpositionen zweier relativ zueinander beweglicher Teile. Dies können Teile von Präzisionsmaschinen sein, deren Positionen mit hoher Genauigkeit erfaßt werden sollen, s oder Geräteskalen, beispielsweise an optischen Instrumenten. So wird z. B. bei bisher gebräuchlichen Nivellierinstrumenten durch ein mit dem Instrument verbundenes Fernrohr auf einer entfernt aufgestellten Nivellierlatte eine darauf angebrachte Höhenskala abgelesen. Das Ablesen der entfernten Höhenskala durch das Fernrohr erfordert eine relativ hohe Konzentration des Beobachters. Deswegen treten mit dieser Methode immer wieder Ablesefehler, insbesondere grobe Fehler durch ungeübte Beobachter auf.

Es wurde bereits versucht, die hohe Fehleranfälligkeit bekannter Nivelliereinrichtungen auf verschiedene Arten zu beheben. So wurde gemäß der japanischen Publikation JA-57 749-81 vorgeschlagen, die Nivellierlatte mit codierten Lichtquellen entsprechend der Höhenskala zu versehen. Das Ablesen dieser Latte soll mit Hilfe eines darauf angepaßten Empfängers erfolgen. Die Nivellierlatte ist jedoch sehr aufwendig und für den rauen Betrieb im freien Gelände oder auf Baustellen nur wenig geeignet. Außerdem weist diese Nivellierlatte einen erheblichen Energieverbrauch auf, der sich ebenfalls störend auswirkt. Gemäß einem anderen Vorschlag (Austral. Provisional Patent No. 25 42/77) ist die Nivellierlatte mit Kombinationen von schwarz-weißen Längsstreifen und Dreiecken versehen. Durch Abtasten dieser Markierungen quer zur Latte wird bei geeigneter Wahl des Codes aus der abgetasteten Impulsänge auf die gemessene Höhe geschlossen. Bei dieser Anordnung wirkt sich die geringe Meßgenauigkeit sowie die geringe Empfindlichkeit beim Ablesen über größere Distanzen nachteilig aus.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Nivelliersystem der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, das eine schnellere und genauere Auswertung ermöglicht; es ist ebenfalls Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems vorzusehen.

Diese Aufgabe wird durch ein Nivelliersystem gelöst, das durch die Merkmale des Anspruches 1 gekennzeichnet ist, bzw. durch ein Verfahren, das durch die Merkmale des Anspruches 4 gekennzeichnet ist.

Durch die erfundungsgemäße Maßnahme ist ein automatisches Ablesen der Position bei sehr hoher Meßgenauigkeit möglich. Das Meßergebnis läßt sich digital anzeigen und kann bei Bedarf direkt auf einem Datenträger gespeichert und/oder in einem Rechner weiter verarbeitet werden. Insbesondere ist das Ablesen einer Skala auch dann möglich, wenn die Skala nicht mehr in die optische Achse eines Beobachtungsfernrohrs ragt. Zusätzlich kann durch die Ablesung eine Distanzinformation erhalten werden. Bei Anwendung auf Nivelliergeräte erfolgt durch das Einbeziehen der gesamten sich im Bildfeld befindlichen Information der Meßlatte in den Meß- und Auswerteprozess die Bestimmung von Nivellierhöhe und Entfernung auch bei einem starken Anteil von Rausch- und Störsignalen mit höherer Genauigkeit als mit bekannten Verfahren.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels, insbesondere bei Verwendung an einer Nivelliereinrichtung, mit Hilfe der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Nivelliergerät mit entfernt nachgeordneter Meßlatte sowie einen Ausschnitt aus einem längs der Latte angebrachten Strich-Code,

Fig. 2 einen Schnitt durch das verwendete Nivellier-

gerät,

Fig. 3 das Blockschaltbild einer an das Nivelliergerät angeschlossenen Auswert- und Anzeigeeinrichtung, und Fig. 4 Signalbilder A, B und C zur Erläuterung der Arbeitsweise.

Das als Beispiel zur Erläuterung der Erfindung beschriebene Nivelliersystem gemäß Fig. 1 umfaßt ein Nivelliergerät 1 sowie eine in einer Entfernung Z aufgestellte Nivellierplatte 2. Auf der Nivellierplatte ist gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel in Längsrichtung ein Strich-Code 3 aufgebracht, dessen Striche quer zur Längsrichtung verlaufen.

Zum Ablesen der Nivellierplatte dient das Nivellierge-
rät 1, welches gemäß Fig. 2 ein Objektiv 4, eine Fokus-
sierlinse 5 mit zugehörigem Fokussierbetrieb 6, einen
Strahlteiler 7, eine Strichplatte 8 sowie ein Okular 9
enthält. Im Bereich der durch den Strahlteiler 7 aus dem
Haupt-Strahlengang abgelenkten Strahlen befindet sich
zusätzlich eine Detektorgruppe 10. Die Detektorgruppe
dient zur Abtastung von Bildelementen quer zur opti-
schen Achse. Die Anordnung ist derart gewählt, daß die
von dem Objektiv 4 erfaßten Code-Elemente der Nivel-
lierplatte 2 in die Ebene der Detektorgruppe 10 abgele-
det werden. Der Detektorgruppe ist eine Signalverar-
beitungseinrichtung 11 nachgeschaltet, die in Fig. 3 im
einzelnen dargestellt ist.

In der Signalverarbeitungseinrichtung 11 werden die
Signale der zu Detektorgruppe 10 gehörenden Detek-
torelemente Q_i über einen Verstärker 12, einen Abtast-
speicher (Sample & Hold) 13 und einen Analog/Digital/
Wandler 14 einem Rechner 15 zugeführt. Auf der Aus-
gangsseite des Rechners ist eine Anzeigevorrichtung 16
zur Darstellung des Meßergebnisses angeschlossen.

Am Fokussierbetrieb 6 des Nivelliergerätes ist ein
Positionsgeber 17 angeschlossen, beispielsweise ein
Weggeber oder ein mit dem Drehknopf gekoppelter
Winkelgeber. Mit dieser Einrichtung wird die jeweilige
Position des Fokussierbetriebs bei Scharfstellung auf
die Nivellierplatte erfaßt. Das Ausgangssignal des Posi-
tionsgebers 17 wird dem Rechner 15 als weiteres Ein-
gangssignal zugeführt.

An den Rechner 15 ist ein Festwertspeicher 18 ange-
schlossen in welchem ein Referenzcode abgespeichert
ist, der z. B. dem Strich-Code auf der Nivellierplatte ent-
spricht.

Der Rechner ermittelt auf die im folgenden näher
beschriebene Weise durch Vergleich des von der Detek-
torengruppe 10 aufgenommenen Code-Bildes mit dem
im Rechner abgespeicherten Referenzcode die Lage des
Code-Bildes auf der Meßplatte und damit die Nivellier-
höhe.

Der eigentliche Nivellierungsvorgang besteht darin, daß
mit dem Fernrohr des Nivelliergerätes 1 die Nivellier-
platte 2 angezielt und mit dem Fokussierbetrieb 6 scharf-
gestellt wird. Aus der vom Positionsgeber 17 gelieferten
Fernrohr-Fokussierstellung des Nivelliergerätes 1 er-
mittelt der Rechner zunächst den Abstand Z zwischen
dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierplatte 2. Dazu sind
im Festwertspeicher 18 entsprechende Eichwerte für
die Distanz Z in Abhängigkeit von den Werten für die
Fokussierstellung abgespeichert.

Aus den gegebenen Brennweite f des Fernrohrobjek-
tivs, die vorzugsweise ebenfalls im Festwertspeicher 18
abgespeichert ist, und dem zuvor ermittelten Abstand Z
zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierplatte 2
wird vom Rechner 15 der Abbildungsmaßstab m errech-
net, gemäß der Beziehung

$$m = -fZ$$

Mit diesem Abbildungsmaßstab m wird die Nivellier-
platte 2 auf die Detektorgruppe 10 abgebildet.

Anhand der Fig. 4A—4C wird im folgenden die Funk-
tionsweise der Signalverarbeitungseinrichtung 11 für
das gewählte Beispiel erläutert. Fig. 4A zeigt das Signal
für den aus dem Festwertspeicher 18 ausgelesenen Re-
ferenzcode $R(r; m, \Delta)$, wobei dieses Signal zum besseren
Verständnis in der Ebene der Detektorgruppe 10 und in
Abhängigkeit von der Position r der einzelnen Detekto-
ren in dieser Ebene dargestellt ist. r bedeutet somit eine
Variable, während der Abbildungsmaßstab m als Para-
meter aufzufassen ist. Δ , ebenfalls ein Parameter, stellt
die relative Position des Codeanfangs zum Anfang eines
einzelnen Detektorelementes D gemäß Fig. 4B dar.

Die Wahl der Code-Darstellung bzw. der Detektoran-
ordnung ist dabei derart getroffen, daß der Abstand Δ
immer kleiner ist als der Detektorabstand h' zwischen
zwei benachbarten Detektorelementen gemäß Fig. 4B.

Fig. 4B zeigt nun in Abhängigkeit von der örtlichen
Position r die Empfindlichkeitskurven $D(r)$ der einzel-
nen Detektorelemente $D_i(r)$ für $i = 1, 2, \dots, N$.

Durch ein entsprechend gewähltes Steuerprogramm
wird der Rechner 15 veranlaßt, fortlaufend den jeweili-
gen Wert des Referenzcodes $R(r; m, \Delta)$ mit dem zugehö-
riegen Wert der Detektorempfindlichkeitskurve $D(r)$ ge-
mäß den Fig. 4A und 4B zu multiplizieren und über die
Position r zu integrieren. Als Ergebnis erhält man die in
Fig. 4C aufgetragenen Diskretisierungswerte $P_1(m, \Delta)$:

$$P_1(m, \Delta) = \int_0^r R(r; m, \Delta) \cdot D_1(r) \cdot dr.$$

Anschließend wird durch eine geeignete Rechner-
manipulation die Empfindlichkeitskurve $D_1(r)$ um den
Detektorabstand h' verschoben, wieder mit $R(r; m, \Delta)$
multipliziert und integriert. Aus dieser Operation ergibt
sich ein zweiter Diskretisierungswert $P_2(m, \Delta)$. Dieser
Rechenvorgang wiederholt sich solange, bis der ganze
Referenzcode abgedeckt ist. Das Ergebnis ist schema-
tisch in Fig. 4C dargestellt.

Schließlich ermittelt der Rechner 15 programmge-
steuert die Kreuzkorrelation $K_1(m, \Delta)$ zwischen den in
der Detektorgruppe 10 von den einzelnen Detektorele-
menten Q_i gemessenen Intensitätswerten und den be-
rechneten diskretisierten Referenzwerten $P_i(m, \Delta)$, ge-
mäß folgender Formel, worin N die Anzahl der verwen-
deten Detektorelemente bedeutet:

$$K_1(m, \Delta) = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i \cdot P_{i+1}(m, \Delta)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N Q_i^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N P_{i+1}^2 \right)}}.$$

Aus den so berechneten Werten der Kreuzkorrela-
tionsfunktion sucht der Rechner 15 anschließend pro-
grammgesteuert die Verschiebung Δ mit dem größten
Wert der zuvor ermittelten Kreuzkorrelation. Darauf-
hin werden die Parameter m und Δ variiert und durch
bekannte Methoden der numerischen Mathematik der
maximale Wert der Kreuzkorrelationsfunktion $K_1(m,
Δ)$ als Funktion von m und Δ programmgesteuert
bestimmt.

Aus den so berechneten Werten für l , m und Δ wird diejenige Wertegruppe mit der höchsten Korrelation ausgewählt und aus den entsprechenden Parametern die Ableseposition, im vorliegenden Beispiel also die Nivellierhöhe, berechnet.

Für die zu Beginn vorgenommene Bestimmung der Distanz Z zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 ergibt sich eine Genauigkeitsabschätzung $\Delta Z / Z$ nach folgender Überlegung:

$$\Delta Z / Z = OPD \cdot 8 \cdot Z / D^2,$$

wobei D die Apertur des Fernrohrobjektivs im Nivelliergerät ist und OPD die optische Phasendifferenz. Wird der OPD ein Wert $OPD \leq \lambda/2$ und $D = 40$ mm angenommen, so wird die relative Distanzgenauigkeit $\Delta Z / Z$ besser als $\pm 14\%$ für $Z = 100$ m und besser als $\pm 0,7\%$ für $Z = 5$ m.

Damit sich ein Strichcode 3 für die beschriebene Anwendung und Verarbeitung eignet, muß er die folgenden Bedingungen erfüllen.

Da der Abbildungsmaßstab der Nivellierlatte 2 auf die Ebene der Detektorgruppe mit dem Abstand Z zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 variiert, unterliegt der Abbildungsmaßstab m starken Veränderungen. Beispielsweise erfolgt bei Veränderung der Distanz Z von 1,5 m auf 100 m eine Änderung des Abbildungsmaßstabes um den Faktor 66,6.

Da die einzelnen Elemente Q der Detektorgruppe 10 einen endlichen Abstand voneinander haben, muß die Projektion eines Codeelementes auf ein Detektorelement größer sein als der gegenseitige Abstand h' der Detektorelemente untereinander, damit die Detektorelemente den Code noch auflösen können. Nach der aus der Nachrichtentechnik übernommenen Theorie von Nyquist sollte daher die Projektion eines Codeelements G' mindestens ca. zweimal so groß sein wie der Abstand h' der Detektorelemente voneinander.

Diese Bedingung legt die Größe des zu wählenden Rasters G des Codes für die Nivellierlatte 2 fest: $G \geq 2 \cdot h' \cdot m$, wobei nun m der Abbildungsmaßstab für die größte Meßdistanz Z der Nivellierlatte in die Ebene der Detektorgruppe 10 ist.

Für kurze Distanzen Z zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 wäre bei beschränkter Anzahl der Detektorelemente das Gesichtsfeld so klein, daß sich nur wenige Rasterelemente G im Gesichtsfeld der Detektorgruppe 10 befinden würden. Diese Anzahl Rasterelemente kann so klein sein, daß sie nicht zum eindeutigen Code-Aufbau und damit zur eindeutigen Ableitung des Codeträgers ausreicht. Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, wird in solchen Fällen eine Optik mit veränderbarer Brennweite, wie ein Zoom oder Vergrößerungswechsler im Ablesegerät 1 verwendet. Auch eine Vorrichtung zur Abtastung des Gesichtsfeldes (Scanner) ist für diesen Zweck geeignet.

Eine andere Lösung des genannten Problems besteht darin, die Rasterelemente des Codes, entweder die hellen oder die dunklen Teile oder beide, durch ein feineres Rastersystem zu unterteilen und damit einen weiteren Feincode zu bilden. Für große Distanzen Z wird dieser Feincode von der Detektorgruppe nicht aufgelöst, sondern wirkt wie in Grauwert. Für kurze Distanzen Z hilft er, die Position bei beschränktem Gesichtsfeld auf der Detektorgruppe eindeutig zu bestimmen. Als Grobcode hat sich ein Code-Raster als zweckmäßig erwiesen, welches für die größte praktisch vorkommende Meßdistanz Z ca. 1,5 mal der Bildgröße des Strichabstandes auf dem

Codeträger ist.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, daß der Codeträger eine beliebige, von einer Abtastvorrichtung erfassbare Form aufweisen kann, beispielsweise auch eine Kreisform. In diesem Fall lassen sich Winkelpositionen eines mit dem Codeträger verbundenen Bauteils mit hoher Genauigkeit automatisch ablesen. Dabei vereinfacht sich die notwendige Rechenoperation insoweit, als der Abbildungsmaßstab m als systembezogene feste Größe betrachtet werden kann, sofern der Abstand zwischen Codeträger und Lesegerät fest eingestellt ist, was für die meisten derartigen Anwendungsfälle zweckmäßig sein dürfte.

Anstelle der im bevorzugten Ausführungsbeispiel beschriebenen Kreuzkorrelation können die im Rechner vorgenommenen Vergleichsoperationen aus einer beliebigen integralen Vergleichsoperation bestehen. Dabei wird mindestens ein Großteil, vorzugsweise die Mehrzahl derjenigen Detektorelemente, auf denen das Codemuster abgebildet ist, zum Vergleich mit dem Referenzcode herangezogen.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

ZEICHNUNGEN BLATT 1

Nummer: 34 24 806
Int. Cl. 4: G 01 B 11/14
Veröffentlichungstag: 28. April 1988

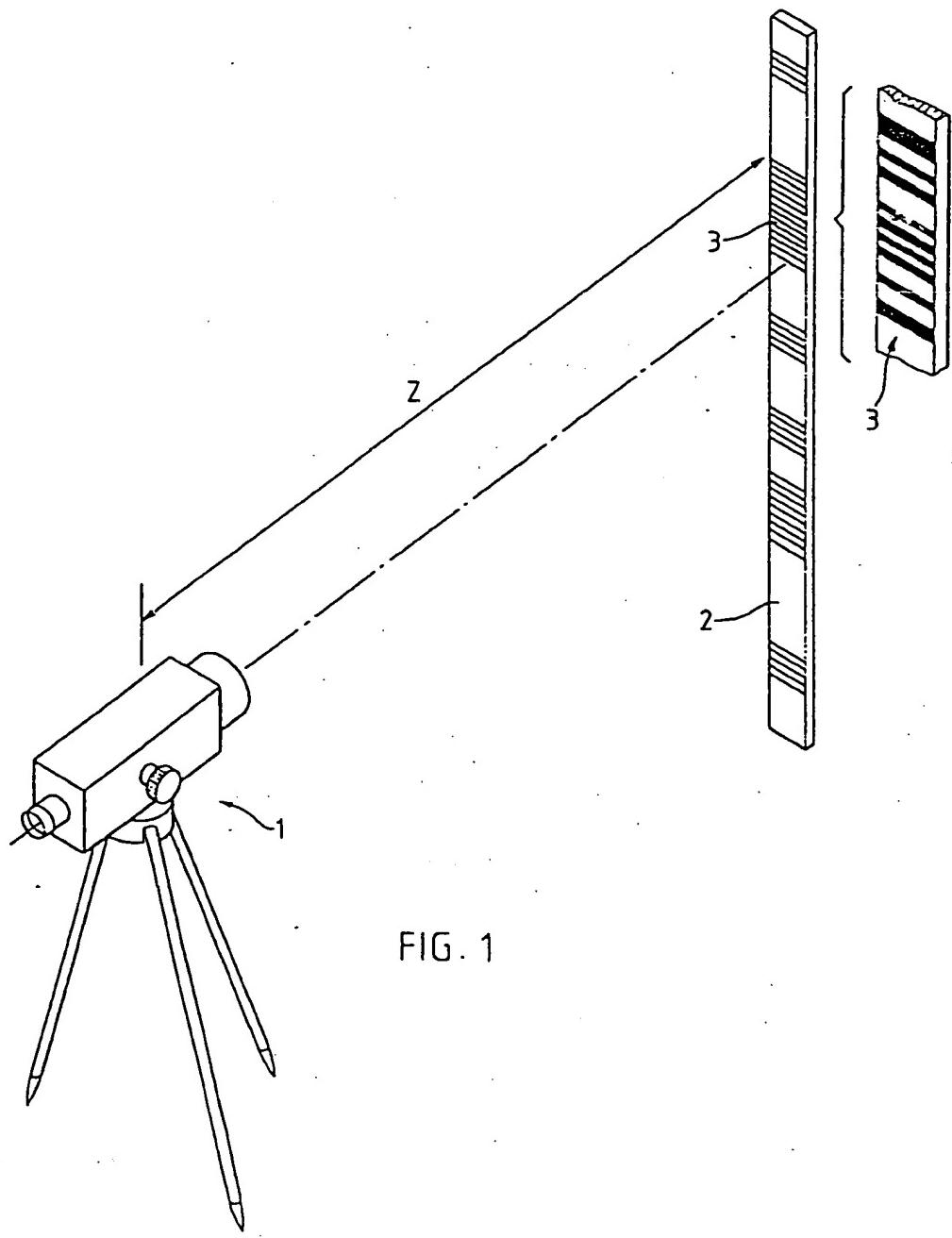


FIG. 1

ZEICHNUNGEN BLATT 2

Nummer: 34 24 806
 Int. Cl. 4: G 01 B 11/14
 Veröffentlichungstag: 28. April 1988

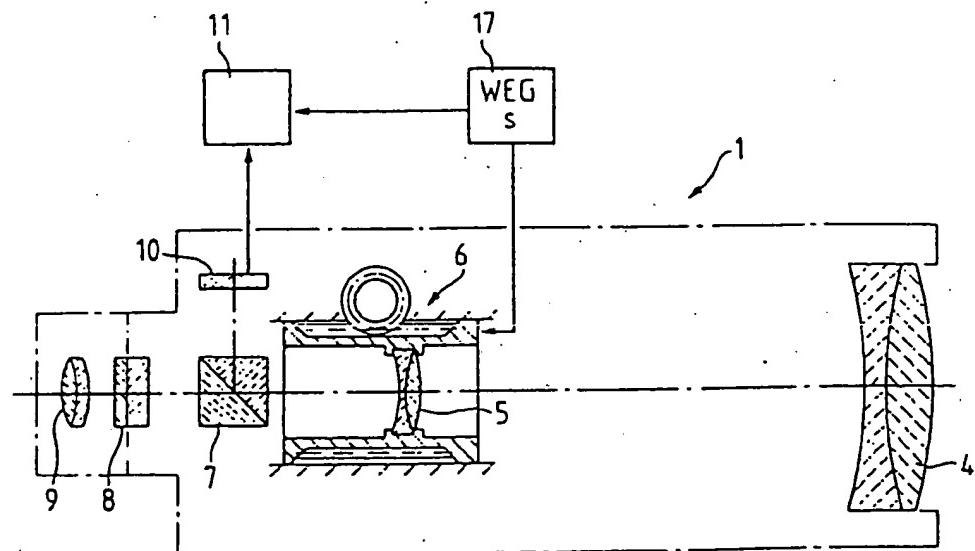


FIG. 2

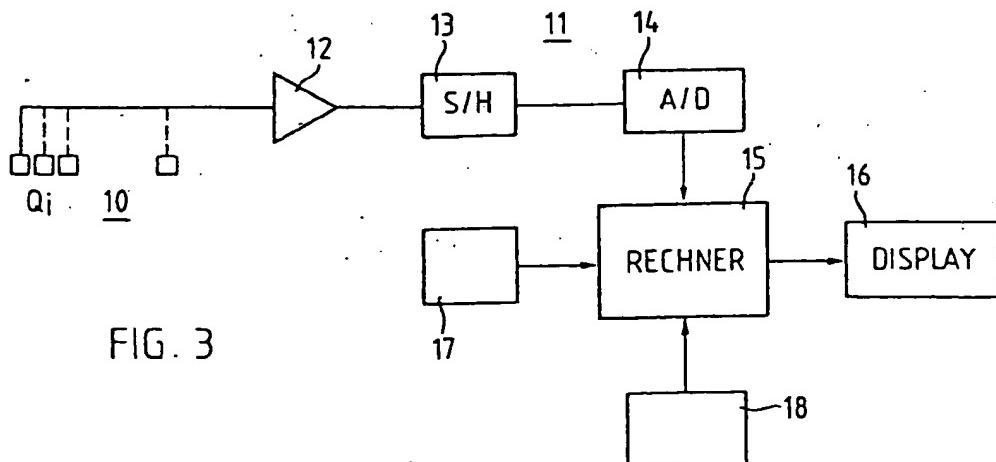


FIG. 3

ZEICHNUNGEN BLATT 3

Nummer: 34 24 806
 Int. Cl.⁴: G 01 B 11/14
 Veröffentlichungstag: 28. April 1988

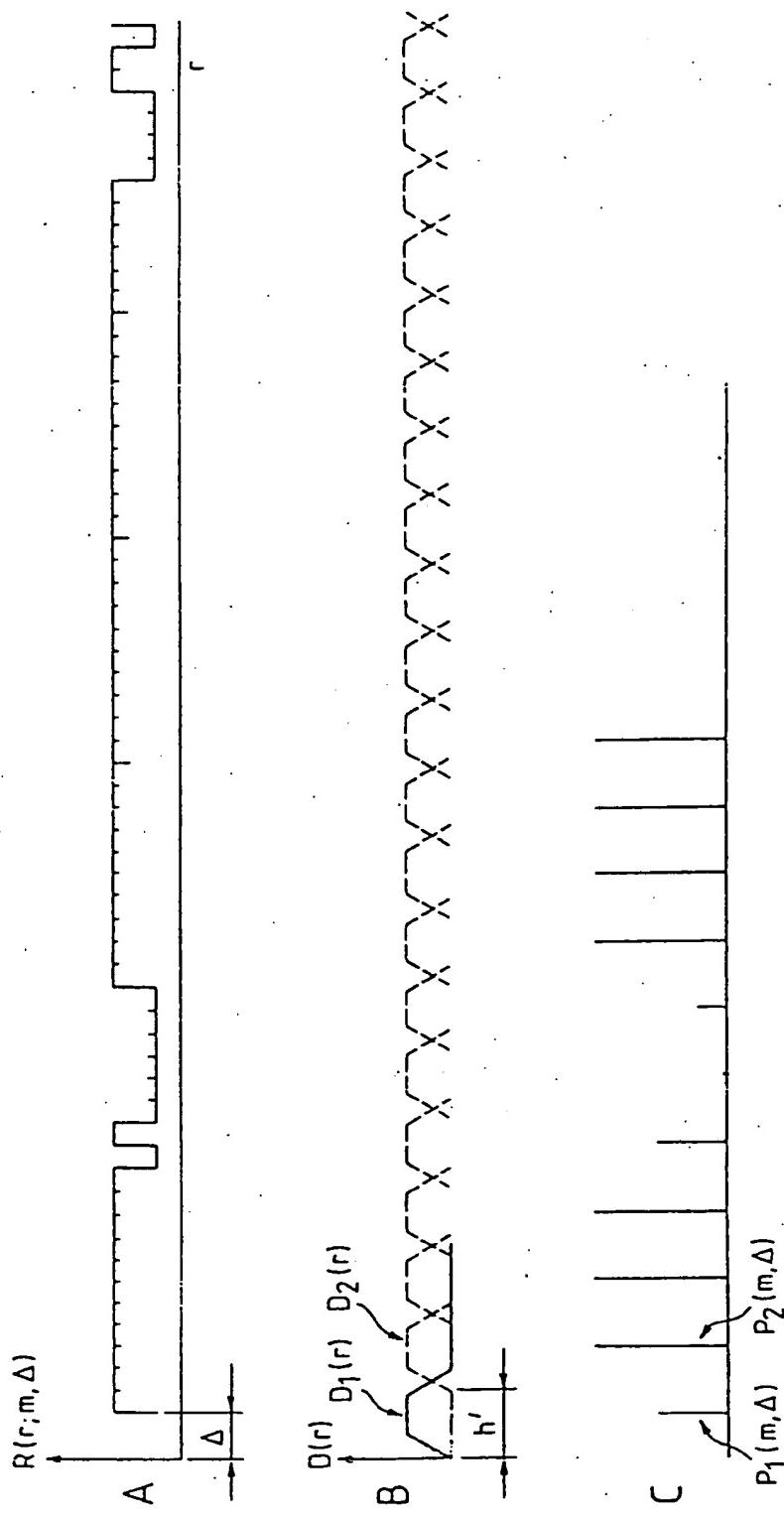


FIG. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.